综述

孕妇及胎儿超声参数评估胎儿体质量的研究进展

王一飞[1,2]，吴琰婷[3]，黄荷凤[1,3]

1. 上海交通大学医学院附属国际和平妇幼保健院妇产科，上海 200030；2. 上海市胚胎源性疾病重点实验室，上海 200030；3. 复旦大学附属妇产科医院生殖与发育研究院，上海 200021

［摘要］分娩前使用孕妇及胎儿各项参数计算胎儿估计体质量（estimated fetal weight，EFW）对正确评估胎儿宫内生长发育和妊娠结局有重要的作用。计算EFW的方法种类繁多。使用孕妇参数估计EFW的预测准确率取决于医师的经验和测量的规范性。以产前胎儿超声检查参数为主的Hadlock公式等评估方法是目前临床应用较广泛的方法，但误差仍较大。而通过三维超声和核磁共振对胎儿体积的计算虽可更准确地计算EFW，但受到时间和经济因素的限制，不能被广泛地应用。基于神经网络分析的大数据建模，预测符合率优于传统超声检测，有望成为更好的EFW评估方法。综上，精确评估EFW，并应用于产科临床仍是未来的重大挑战。

［关键词］胎儿体质量；出生体质量；超声；巨大儿；胎儿生长受限

［DOI］10.3969/j.issn.1674-8115.2021.03.014　［中图分类号］R714.51　［文献标志码］A

Advances in estimating fetal weight by maternal and fetal ultrasound variables

WANG Yi-fei[1,2], WU Yan-ting[3], HUANG He-feng[1,3]

1. Department of Obstetrics and Gynaecology, The International Peace Maternity & Child Health Hospital, Shanghai Jiao Tong University School of Medicine, Shanghai 200030, China; 2. Shanghai Key Laboratory of Embryo Original Diseases, Shanghai 200030, China; 3. Institute of Reproductive and Development, Obstetrics and Gynecology Hospital, Fudan University, Shanghai 200011, China

[Abstract] The estimated fetal weight (EFW), using the parameters of pregnant woman and fetuse before birth, plays an important role in helping evaluating fetal development and pregnancy outcome. Various methods have been used to calculate EFW. Predictive accuracy of estimating EFW by using pregnant women′s parameters depends on doctors′ experience and standardization of measurement. Some appraisal procedures, such as Hadlock formula, which mainly focus on prenatal fetal ultrasound parameters, have been widely used in clinics but still have large errors. Measurements of fetal volume by 3-dimentional ultrasound and magnetic resonance imaging methods show significant improvements, yet they cannot be widely used because of time and economic issues. The prediction coincidence rate of a model with big data based on analysis of neural network, is better than that of traditional ultrasonic detection. It could be a better method of EFW in the future. In summary, accurate evaluation of EFW and its application to obstetric clinic are still major challenges in the future.

[Key words] fetal weight; birth weight; ultrasound; macrosomia; fetal growth restriction

胎儿宫内生长发育的评估和出生体质量的预测是围产医学中一个非常重要的问题。对预测为低出生体质量儿（出生体质量<2 500 g）来说，正确估测胎儿估计体质量（estimated fetal weight，EFW）有助于医师评估胎儿是否存在宫内发育迟缓（intrauterine growth retardation，IUGR），并及时进行处理，计划分娩时间和方式。而对于巨大儿（出生体质量≥4 000 g）来说，分娩时母婴风险均相对较高，可能出现如第二产程延长、胎儿宫内窘迫、产伤、肩难产、臂丛神经损伤、产后出血等问题[1-3]；故而降低估测EFW的误差能够帮助减少母婴不良预后[4]，并在出现可疑巨大儿、头盆不称等情况时，帮助医师决定分娩方式[5]。目前对EFW的评估依然缺乏非常准确、便捷的手段和方法，在此领域不断有新的研究和报道。本文对国内外多种估测EFW方法的准确性、易用性和研究进展进行综述。

1　评估EFW误差的常用参数

不同文献报道中评估EFW误差的方法不同，以下仅列举几种常用的评估预测准确程度的参数及其优劣。

[基金项目] 国家重点研发计划（2017YFC1001300）；国家自然科学基金中加国际合作项目（81661128010）；上海交通大学中国医学科学院创新单元（2019RU056）；上海市卫生健康委员会项目（201840210）；上海申康医院发展中心项目（SHDC12018X17）。
[作者简介] 王一飞（1994—），女，博士生；电子信箱：wangyifei0524@outlook. com。
[通信作者] 黄荷凤，电子信箱：huanghefg@sjtu. edu. cn。
[Funding Information] National Key Research and Development Program of China (2017YFC1001300); China and Canada International Cooperation Project of National Nature Science Foundation of China (81661128010); Chinese Academy of Medical Sciences Research Unit, Shanghai Jiao Tong University (2019RU056); Project of Shanghai Municipal Health Commission (201840210); Project of Shanghai Shenkang Hospital Development Center (SHDC12018X17).
[Corresponding Author] HUANG He-feng, E-mail: huanghefg@sjtu. edu. cn.

1.1　平均百分比误差

平均百分比误差（mean percentage error，MPE）是先计算百分比误差，即每个个体实际出生体质量（actual birth weight，ABW）减去EFW得到的差值（有正负）占ABW的百分比，再计算百分比误差的平均值及标准差。此参数在比较同一公式或方法在不同胎儿体质量组中的准确率有一定意义[6]。但仅比较MPE的平均值不能体现误差的大小，只能够显示预测值是否有偏倚，必须与标准差结合进行比较。

1.2　平均绝对百分比误差

平均绝对百分比误差（mean absolute percentage error，MAPE）是指计算百分比误差取绝对值，并求其平均值及标准差[7]。MAPE较MPE可更准确地评估误差的大小，但不能体现预测的倾向性即偏倚。

1.3　平均绝对误差

有部分研究者直接计算ABW与EFW的差值后取绝对值，并计算平均值及标准差，即为平均绝对误差（mean absolute error，MAE）。MAE的平均值和标准差均以g为单位，与原始数据量纲一致，便于直接进行比较[8]。

1.4　均方根误差

均方根误差（root mean square error，RMSE）是回归分析中常用的评价指标，在使用回归分析等方法的研究中常出现，可准确评估误差大小[8-9]。RMSE是计算每个个体ABW与EFW差值的平方和，再除以个体的数量。其量纲与原始数据相同，便于直接比较，但不能显示预测的倾向性。

1.5　预测符合率

在妇产科学的传统标准上，将EFW与ABW差值在±250 g以内的预测作为准确的预测，将准确预测的样本数除以总体数计算预测符合率[10]。也有研究者将EFW与ABW之间百分比误差不超过10%的作为预测符合率。

2　孕妇参数估计EFW

使用孕妇参数估计胎儿体质量的主要测量指标包括宫高（fundal height，FH）、孕妇腹围（maternal abdominal circumference，mAC），预测准确率取决于医师的经验和测量的规范性。评估胎方位及胎头下降的程度对矫正公式也有重要作用。

Johnson公式[9]是使用孕妇参数估计EFW较常用的公式，适用于单胎头位胎儿。公式为：EFW=（FH−n）×155（n=12，胎头高于坐骨棘；n=11，胎头不高于坐骨棘）。

Numprasert等[11]报道的Johnson公式的预测符合率（误差不超过10%为符合）为71.5%（n=400）。其他简便公式还包括：EFW=（FH×mAC）＋500[12]；EFW=FH×100[13]；EFW=FH×mAC×1.076[14]等。三者报道[10]的预测符合率（误差不超过250 g为符合）分别为52.20%、54.70%、65.90%。

Mgbafulu等[15]的研究表明，使用孕妇参数的Johnson公式的预测符合率较超声方法有明显的差距，且常常倾向高估胎儿体质量。误差主要的来源是难以保证测量方法的一致性和准确性，以及在肥胖、羊水过多等病理状态下产生的系统误差。但在没有条件进行常规产前超声检查的地区，以及紧急时难以进行超声检查等情况下，仍可被用于判断胎儿是否有巨大儿的风险。

3　产前超声影像学估计EFW

超声检查测量的胎体参数较产前检查医师体检测量的更为精确，影响因素也更少，且超声检查所需时间短，方法无创、无放射性，简便经济，因此成为目前应用最为广泛的评估EFW的方法。超声检查计算EFW的方法通常是先测量样本胎儿的多个参数，将数据进行回归分析并建立经验公式，在应用时则直接将测量数据带入经验公式即可。最常应用的参数是双顶径（biparietal diameter，BPD）、头围（head circumference，HC）、胎儿腹围（fetal abdominal circumference，fAC）和股骨长（femur length，FL）。最常用的经验公式是Hadlock公式[16]和Warsof公式[17]以及根据Warsof公式改良的Shepard公式[18]。大多数超声设备均内置这些公式，测量出指标后可自动进行EFW的计算。

2018年Hammami等[19]在5 163名婴儿群体中对上述公式进行了验证，结果表明几种Hadlock公式的MAPE差别不大，平均值在6.3%~7.3%之间，标准差均在5%左右，预测符合率（<10%为符合）为73.3%~79.9%；而Shepard公式的MAPE为（9.8±7.6）%，预测符合率仅为58.6%。Dudley等[6]进行的一项系统评价也表明，在正常体质量胎儿群体中，Hadlock公式计算EFW的MPE在大多数研究中较稳定，平均值均在±3%范围内，与几种Hadlock公式使用了BPD（或HC）、fAC、FL 3个参数估

计有关；仅在Sabbagha等[20]的研究中为−6.7%，但标准差与其他方法区别不大。Shepard公式及Warsof公式在不同研究中的MPE变化较大，可能是与这2个公式多使用BPD和fAC 2个参数进行估计，在不同样本群体中发生了偏倚。另外，孕晚期胎头位置低，且胎头入盆后发生变形，难以准确测量BPD、HC的切面，因此可能仅使用fAC、FL的Hadlock公式能更准确地估计孕晚期的胎儿体质量。同时，系统评价[6]也表明，多种计算EFW的方法随机误差均较大，约±10%，主要与测量者的随机误差有关；有经验的超声医师、多次测量、提高超声图像质量可以减小这方面误差。

在低出生体质量儿或小于胎龄儿中，大多数公式倾向于高估胎儿体质量。在低出生体质量儿的研究中，Hadlock公式的稳定性较差，MPE平均值在−3%~10%之间，标准差多大于10%。而Sabbagha等[20]的方法在低出生体质量儿或小于胎龄儿中表现最好；在使用此方法的Robson等[21]和Jouannic等[22]的研究中，MPE分别为（1.7±8.1）%和（2.8±9.1）%。

在巨大儿或大于胎龄儿中，Hadlock公式等对EFW大多倾向于低估[6]。因此，相较于传统的未调整的公式，根据预产期、妊娠女性的体质量、身高和是否合并糖尿病等指标进行调整后的Hadlock公式，在诊断巨大儿方面具有更好的敏感度；在95%特异度时将诊断巨大儿的敏感度从71.4%提高到85.7%[23]。同样，Hart等[24]的研究也表明，将妊娠女性体质量作为一个单独变量对巨大儿群体的EFW公式进行调整，可提高预测的准确性，MAPE为3.69%。

目前，根据胎儿超声参数计算的EFW因操作简便，标准明确，在临床应用最为广泛，但MAPE仍在6.5%~10%，和临床需求仍有一定差距；且多在正常体质量胎儿群体中表现较好，而在大于和小于胎龄儿中误差相对较大。因此，需要进一步增加测量的准确性，减小随机误差，或增加更多的参数对公式进行调整和修正。

4 其他一些与体质量相关的胎儿超声指标

超声测量主要通过胎儿的各项长度指标计算EFW，忽略了胎儿各组织的密度差异。脂肪组织的密度较其他组织低，因而在脂肪组织较多的胎儿中，常规的超声方法可能会高估胎儿体质量。评估胎儿皮下脂肪厚度，可能有助于更准确地估计EFW，鉴别正常及异常胎儿。研究[25]表明，在妊娠期糖尿病产妇的新生儿中，产前体质量被高估的新生儿（n=22）与体质量被低估的新生儿（n=8）相比，新生儿皮褶厚度、脂肪含量等均更高。尽管如此，在比较使用软组织测量值与超声测量值计算EFW在诊断巨大儿的研究中，软组织测量组并未获得曲线下面积（area under the curve，AUC）更大的受试者操作特征（receiver operating characteristic，ROC）曲线[26]。因此，也有研究者[19]认为，胎儿组织脂肪含量增加5%，胎儿总体密度变化仅有0.5%，不足以引起EFW较大的改变。但EFW的变化也可能与胎儿四肢部的脂肪累积关系更大，三维超声对胎儿四肢体积的精确测量可能有助于减少EFW的误差[27]。

除了胎儿皮下脂肪外，还有一些参数，如母亲孕期增重（gestational weight gain，GWG）[28]、脐带横截面积[29]、羊水指数（amniotic fluid index，AFI）[30-31]、胎盘质量[32]等均被认为可能与胎儿体质量有很大的相关性。研究[28]表明，新生儿出生体质量随着GWG的增加而增加（β=24.17±2.28，P<0.000 1）。脐带横截面积较大的胎儿中巨大儿比例显著增高（54.7% *vs* 8.7%，P<0.000 1），以脐带横截面积预测巨大儿的敏感度为51.4%，特异度为91.3%[29]。孕晚期AFI百分位数在严重巨大儿组中也发生显著增高［（72.4±22.5）*vs*（53.5±19.6）；P<0.000 1）］，以AFI百分位数诊断巨大儿的ROC曲线的AUC为0.76，以AFI百分位数＞60%为截断点效果最好，敏感度为74%，特异度为62%[30]。将新生儿按胎盘质量进行分组，胎盘质量过轻组出生体质量较正常组低，胎盘质量过重组则相反；Logistic回归分析结果显示，胎盘质量每增长92.0 g，导致巨大儿出生的风险增加36%，而低体质量儿的出生风险则降低42%[32]。

使用以上指标对利用常规超声参数计算EFW的公式进行调整，可能有助于更准确地预测胎儿体质量，但具体方法有待于进一步的研究证实。

5 体积测量法估计胎儿体质量

使用超声影像学估测胎儿体质量的方法，是用二维物体参数对胎儿这个三维物体进行评估。胎儿身体各部位的不均匀生长可能对EFW结果造成影响，而三维超声技术的出现，使我们可以更好地对胎儿的体积进行测量，对胎儿软组织进行更准确的分析。然而，验证性研究[33]显示，三维超声预测出生体质量的误差并未明显优于二维超声，但三维超声的预测符合率较高。

将三维体积测量值（双上臂、大腿及腹部的体积）和二维测量值BPD进行联合计算可能有助于改善EFW的准确性[34]。该方法计算出的EFW的MAPE为（6.1±

5.00）%，而单纯进行二维测量以Hadlock公式计算EFW的MAPE为（7.5±5.53）%（n=65）[35]。

核磁共振成像（magnetic resonance imaging，MRI）是最准确地估算胎儿体积的影像学方法。许多研究证实，MRI扫描后进行回波平面成像（echo-planar imaging，EPI）并根据三维图像计算胎儿体积（MRI-EPI法）可以更准确地预测胎儿体质量；使用该方法计算的EFW的MAPE为3%[36]，与实测值的相关系数r=0.95，显著优于超声方法（Hadlock公式）（r=0.77）[37]。以上研究均证明MRI-EPI法确实能够增加EFW的准确率，但该方法对硬件要求高，检查时间长，费用昂贵，难以大范围推广应用。

6　机器学习算法在估计EFW中的应用

近年来，机器学习算法在语音识别、影像诊断等许多领域中取得了惊人的成果。人工神经网络（artificial neural network，ANN）是一种模拟人脑神经系统工作的机器学习模型，它通过在输入层和输出层之间建立联系，并使用大量数据进行“训练”，不断修正这些联系的权重，最终达到系统的自适应和稳态。该方法用于计算EFW无需经验公式，可以根据不同地区、人种、测量方法等进行调整，也适用于将更多可能相关的参数，如母亲体质量、AFI等加入模型。

神经网络法用于计算EFW的研究有一定历史，最早由Farmer等[38]使用神经网络模型计算100例可疑巨大儿的EFW，MAPE为4.7%，明显优于超声方法的10%左右。但受限于当时的计算能力，未进行大规模的验证。

一项研究[39]使用BPD、枕额径（occipitofrontal diameter，OFD）、fAC、FL、胎龄（gestational age，GA）及胎位（fetal position，FP）6项参数输入训练模型，训练组991例，验证组362例，结果显示MAPE为6.15%，优于传统方法的7.50%。然而，当体质量小于2 500 g或大于4 000 g时，该模型的准确度下降[39]，这可能是由于训练组样本中巨大儿和低体质量儿比例偏低所致。

李昆等[40]尝试使用深度神经网络（deep neural networks，DNN）构建胎儿体质量预测模型，结果显示，DNN模型对预测符合率提高不大，为57.94%（Hadlock公式法为57.48%）。朱海龙等[41]则利用孕妇产检数据，首先建立连续的体质量变化模型，然后使用遗传算法（genetic algorithm，GA）优化神经网络的初始权值和阈值，建立EFW预测模型；研究结果表明，该方法将MAPE从7.69%减少到5.95%，预测符合率由62.0%提高到75.9%，而且加快了模型的收敛。

机器学习算法理论上可以拟合任意非线性函数，一方面使得对EFW的计算更加精细，另一方面也很容易发生过拟合。并且其所建立的模型可能仅在样本空间效果较好，但较传统公式可推广性差，需要进一步交叉验证及外部验证。

7　结语

综上，本文汇总了计算EFW的代表性方法及相关文献报道。目前国内外临床应用较广泛的方法是使用超声测量胎体参数的Hadlock公式，对指导产科临床工作有一定参考价值，但仍不及有经验的产科医师进行的评估。减小EFW的误差、提高预测符合率的方法可能包括：探索减小测量误差的更简便、可操作性更强的方法；增加更多相关参数对现有的EFW公式进行调整；使用新的三维超声及MRI等技术对胎儿的体积进行估计；用新的统计学算法建立EFW模型等。更为精确的计算EFW的方法能够有效提高诊断IUGR及巨大儿的准确度，对选择分娩方式、减少产时并发症、提高围产儿存活率均具有重要的意义，对产科医师的工作及患者产前的自我评估有较大的价值。

参·考·文·献

[1] Oral E, Cağdaş A, Gezer A, et al. Perinatal and maternal outcomes of fetal macrosomia[J]. Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol, 2001, 99(2): 167-171.

[2] Boulet SL, Alexander GR, Salihu HM, et al. Macrosomic births in the United States: determinants, outcomes, and proposed grades of risk[J]. Am J Obstet Gynecol, 2003, 188(5): 1372-1378.

[3] Menticoglou S. Shoulder dystocia: incidence, mechanisms, and management strategies[J]. Int J Womens Health, 2018, 10: 723-732.

[4] Vitner D, Bleicher I, Kadour-Peero E, et al. Does prenatal identification of fetal macrosomia change management and outcome? [J]. Arch Gynecol Obstet, 2019, 299(3): 635-644.

[5] Bushman ET, Thompson N, Gray M, et al. Influence of estimated fetal weight on labor management[J]. Am J Perinatol, 2020, 37(3): 252-257.

[6] Dudley NJ. A systematic review of the ultrasound estimation of fetal weight [J]. Ultrasound Obstet Gynecol. 2005, 25(1): 80-89.

[7] De Myttenaere A, Golden B, Le Grand B, et al. Using the mean absolute percentage error for regression models[J/OL]. [2020-01-26]. https://arxiv.org/pdf/1506. 04176v1.pdf.

[8] Willmott CJ, Matsuura K. Advantages of the mean absolute error (MAE) over the root mean square error (RMSE) in assessing average model performance[J]. Clim Res, 2005, 30(1): 79-82.

[9] Hyndman RJ, Koehler AB. Another look at measures of forecast accuracy[J]. Int J Forecast, 2006, 22(4): 679-688.
[10] 顾国华, 陈千娣, 姚家生. 预测胎儿体重的探讨(附400例分析)[J]. 实用妇科与产科杂志, 1987, (2): 93.
[11] Numprasert W. A study in Johnson's formula: fundal height measurement for estimation of birth weight[J]. AU J. T. , 2004, 8(1): 15-20.
[12] 胡章和, 田孝坤. 110例头位难产的初步分析[J]. 中级医刊, 1983, (1): 18-20.
[13] 刘旦光, 汪应志, 朱从容, 等. 足月新生儿体重预测的探讨: 附715例分析[J]. 中华妇产科杂志, 1985, 20(4): 243-244.
[14] 徐朗澄, 罗美瑜, 林亭亭, 等. 预测胎儿体重的新方法[J]. 福建医药杂志, 1984, (2): 44-45.
[15] Mgbafulu CC, Ajah LO, Umeora OUJ, et al. Estimation of fetal weight: a comparison of clinical and sonographic methods[J]. J Obstet Gynaecol, 2019, 39(5): 639-646.
[16] Hadlock FP, Harrist RB, Sharman RS, et al. Estimation of fetal weight with the use of head, body, and femur measurements: a prospective study[J]. Am J Obstet Gynecol, 1985, 151(3): 333-337.
[17] Warsof SL, Gohari P, Berkowitz RL, et al. The estimation of fetal weight by computer-assisted analysis[J]. Am J Obstet Gynecol, 1977, 128(8): 881-892.
[18] Shepard MJ, Richards VA, Berkowitz RL, et al. An evaluation of two equations for predicting fetal weight by ultrasound[J]. Am J Obstet Gynecol, 1982, 142(1): 47-54.
[19] Hammami A, Zumaeta AM, Syngelaki A, et al. Ultrasonographic estimation of fetal weight: development of new model and assessment of performance of previous models[J]. Ultrasound Obstet Gynecol, 2018, 52(1): 35-43.
[20] Sabbagha RE, Minogue J, Tamura RK, et al. Estimation of birth weight by use of ultrasonographic formulas targeted to large-, appropriate-, and small-for-gestational-age fetuses[J]. Am J Obstet Gynecol, 1989, 160(4): 854-862.
[21] Robson SC, Gallivan S, Walkinshaw SA, et al. Ultrasonic estimation of fetal weight: use of targeted formulas in small for gestational age fetuses[J]. Obstet Gynecol, 1993, 82(3): 359-364.
[22] Jouannic JM, Grangé G, Goffinet F, et al. Validity of sonographic formulas for estimating fetal weight below 1 250 g: a series of 119 cases[J]. Fetal Diagn Ther, 2001, 16(4): 254-258.
[23] Sokol RJ, Chik L, Dombrowski MP, et al. Correctly identifying the macrosomic fetus: improving ultrasonography-based prediction[J]. Am J Obstet Gynecol, 2000, 182(6): 1489-1495.
[24] Hart NC, Hilbert A, Meurer B, et al. Macrosomia: a new formula for optimized fetal weight estimation[J]. Ultrasound Obstet Gynecol, 2010, 35(1): 42-47.
[25] Chauhan SP, West DJ, Scardo JA, et al. Antepartum detection of macrosomic fetus: clinical *versus* sonographic, including soft-tissue measurements[J]. Obstet Gynecol, 2000, 95(5): 639-642.
[26] Bernstein IM, Catalano PM. Influence of fetal fat on the ultrasound estimation of fetal weight in diabetic mothers[J]. Obstet Gynecol, 1992, 79(4): 561-563.
[27] Zelop CM. Prediction of fetal weight with the use of three-dimensional ultrasonography[J]. Clin Obstet Gynecol, 2000, 43(2): 321-325.
[28] 陈伟, 蔡辰, 张妍, 等. 上海市松江区妇女孕期增重与妊娠结局的关系[J]. 上海交通大学学报(医学版), 2018, 38(12): 1479-1483.
[29] Cromi A, Ghezzi F, Di Naro E, et al. Large cross-sectional area of the umbilical cord as a predictor of fetal macrosomia[J]. Ultrasound Obstet Gynecol, 2007, 30(6): 861-866.
[30] Hackmon R, Bornstein E, Ferber A, et al. Combined analysis with amniotic fluid index and estimated fetal weight for prediction of severe macrosomia at birth[J]. Am J Obstet Gynecol, 2007, 196(4): 333. e1-e4.
[31] Benacerraf BR, Gelman R, Jr Frigoletto FD. Sonographically estimated fetal weights: accuracy and limitation[J]. Am J Obstet Gynecol, 1988, 159(5): 1118-1121.
[32] 沈敏, 谈韬, 李浩捷, 等. 胎盘质量与新生儿出生体质量的相关性研究[J]. 上海交通大学学报(医学版), 2019, 39(8): 893-897.
[33] Lee W, Comstock CH, Kirk JS, et al. Birthweight prediction by three-dimensional ultrasonographic volumes of the fetal thigh and abdomen[J]. J Ultrasound Med, 1997, 16(12): 799-805.
[34] Schild RL, Fimmers R, Hansmann M. Can 3D volumetric analysis of the fetal upper arm and thigh improve conventional 2D weight estimates? [J]. Ultraschall Med, 1999, 20(1): 31-37.
[35] Schild RL, Fimmers R, Hansmann M. Fetal weight estimation by three-dimensional ultrasound[J]. Ultrasound Obstet Gynecol, 2000, 16(5): 445-452.
[36] Baker PN, Johnson IR, Gowland PA, et al. Fetal weight estimation by echo-planar magnetic resonance imaging[J]. Lancet, 1994, 343(8898): 644-645.
[37] Uotila J, Dastidar P, Heinonen T, et al. Magnetic resonance imaging compared to ultrasonography in fetal weight and volume estimation in diabetic and normal pregnancy[J]. Acta Obstet Gynecol Scand, 2000, 79(4): 255-259.
[38] Farmer RM, Medearis AL, Hirata GI, et al. The use of a neural network for the ultrasonographic estimation of fetal weight in the macrosomic fetus[J]. Am J Obstet Gynecol, 1992, 166(5): 1467-1472.
[39] Chuang L, Hwang JY, Chang CH, et al. Ultrasound estimation of fetal weight with the use of computerized artificial neural network model[J]. Ultrasound Med Biol, 2002, 28(8): 991-996.
[40] 李昆, 柴玉梅, 赵红领, 等. 基于深度神经网络的胎儿体重预测[J]. 计算机科学, 2016, 43(S2): 73-76, 82.
[41] 朱海龙, 陶晶, 俞凯, 等. 基于GA-BP神经网络的胎儿体重预测分析[J]. 计算机系统应用, 2018, 27(3): 162-167.

［收稿日期］ 2020-01-27 ［本文编辑］ 包 玲